Seminar: Humanoide Roboter
Electro**A**ctive **P**olymers

Stefan Krüger
eMail: skrueger@techfak.uni-bielefeld.de

WS 2004/2005

Inhaltsverzeichnis

1 Vorwort

Diese Ausarbeitung entstand im Rahmen des Hauptstudiumseminars “Humanoide Roboter“. Aufgrund des auferlegten Begrenzung der Seitenanzahl dieser Arbeit, kann hier nur ein begrenzter Einblick gegeben werden. Vorallem was die chemischen und elektrochemischen Prozesse innerhalb der Electroactive Polymers (im folgenden kurz EAP) betrifft, sei der Leser auf weitere Fachliteratur verwiesen. Des weiteren habe ich die englischen Bezeichnungen der EAP beibehalten, um eine nachträgliche Recherge im Internet seitens des Lesers zu erleichtern.

2 Einleitung

Mit den bisherigen auf den Markt erhältlichen Aktoren, konnte in der Robotik schon viel erreicht werden. Wen man jedoch speziell humanoide Roboter betrachtet, ist der größte Nachteil, das höhere Beweglichkeit immer zusätzliches Gewicht bedeutet. Selbst bei fortschreitender Minituasierung, braucht man für jeden eingesetzten Servomotor, das dazugehörige Steuergerät. Diese Komponenten machen einen Roboter schwer und vorallem teuer. Betrachtet man die Alternative Pneumatik, wird sofort klar, das ein Roboter mit solch einem Antrieb meist nicht mehr autark und vorallem laut ist. Desweiteren kann man davon ausgehen, je mehr Elektronik für die Steuerung in einem Roboter vorhanden ist, desto höher ist der Aufwand an Wartung und desto komplizierter gestaltet sich die Fehlersuche in den einzelnen Komponenten. Deshalb wird stets versucht, das Aktionsgewicht eines Roboters zu minimieren. Also werden alternative Antriebskonzepte für die Aktoren benötigt, um die bisher eingesetzten Servomotoren und deren schwere Steuergeräte zu ersetzen. Eine interessante Alternative wären “Electroactive Polymers“.
EAPs sind von der Form her recht vielseitig (siehe Bilder und Videos), der größte Vorteil ist das sie in der Form und Funktion einer Muskelfaser hergestellt werden können. Das bedeutet man kann ganze Muskelstränge damit herstellen. Da der menschliche Bewegungsapperat vollständig erforscht ist, kann dieser als Vorbild herangezogen werden, um mit Hilfe der EAP die selbe Beweglichkeit bei einem Roboterarm zu erreichen. Die Werkstoffe aus denen die verschiedenen EAP bestehen sind sehr leicht, auch gibt es nun eine Firma die mit der industriellen Massenproduktion von EAP begonnen hat (bisher waren nur Prototypen aus eigener Herstellung verfügbar), so das sich preislich eine gewisse Stabilität ergeben wird. Da EAP nur mittels Spannung gesteuert werden, sind sie sehr leise und erzeugen keine ruckartigen Bewegungen, da sie nicht von Getrieben oder anderen mechanischen Bauteilen abhängig sind.

3 Einsatzbeispiele mit EAP

Um zu sehen was EAP bisher leisten, sollte man sich die Videos auf folgenden Webseiten anschauen.
http://ndeaa.jpl.nasa.gov/nasa-nde/lommas/eap/EAP-web.htm
http://www.unm.edu/ amri/
Im folgenden ein paar Bilder, um einen Eindruck der Anwendbarkeit von EAP zu vermitteln.

Abbildung 1: Mimiksteuerung eines künstl. Kopfes (l), Greifer (r)

Abbildung 2: Roboterhand (l), Scheibenwischer eines mobilen Roboters (r)

4 Electroactive Polymers

Elektroaktive Polymere lassen sich in zwei Gruppen unterteilen.

Electronic EAP	**Ionic EAP**
Ferroelectric Polymers	Ionic Polymer Gels
Dielectric EAP	Ionic Polymer Metallic Composite
Liquid Crystal Elastomers	Conductive Polymers
Electro- Viscoelastic Elastomers	Carbon Nanotubes
Electrostrictive Graft Elastomers	Electro Rheological Fluids
Electrostrictive Paper	

Die einzelnen EAP der beiden Gruppen sollen nun kurz beschrieben werden.

4.1 Electronic EAP

4.1.1 Ferroelectric Polymers

PVDF oder PVF2 (Polyvinylidene Fluoride) und seine Copolymere sind die meist verwendeten ferroelektrischen Polymere. Diese sind zum Teil kristallin und besitzen eine inaktive amorphe Phase. Bei anlegen eines Wechselspannungsfelds (~200 MV/m) kann eine Verformung um die 2% erreicht werden. Eine weitere Varinate ist das P(VDF-TrFE) Copolymer, das bei einem angelegten Wechselfeld von 150 MV/m und einer Feldfrequenz > 100KHz einen Verformung von 5% erreicht. Ferroelektische EAP sind in Luft, Vakuum und Wasser betriebsfähig und weitesgehend von der Umgebungstemperatur unabhängig.

4.1.2 Dielectric EAP

Dielectric EAP weisen eine niedrige elastische Steifheit und eine hohe dielektrische Konstante auf. Vom Aufbau her ähnelt dieses EAP einem Plattenkondensator. Bei anlegen eines Wechselspannungsfelds (~100 MV/m) kann eine Verformung von 10-200% erreicht werden. Aufgrund der hohen Verformungsfähigkeit wären diese EAP besonders gut geeignet als Sehnen in einer Roboterhand zu fungieren. Allerdings erzeugt ein hohes Wechselfeld auch sehr viel Wärme, so das für eine ausreichende Kühlung gesorgt sein muß.

4.1.3 Liquid Crystal Elastomere

Liquid **C**rystal **E**lastomere wurden in der Universität Freiburg entwickelt. Mit ihnen ist es möglich ein EAP herzustellen, welches piezoelektrische Eigenschaften hat. LCE ist ein Verbundstoff aus einem monodomainnematischen Liquid Crystal Elastomer, das mit leitenden Elastomeren durchzogen ist. Durch anlegen einer Spannung, wird eine Verformung verursacht, wobei die Reaktionszeit des Materials weit über einer Sekunde liegt. Will man die Verformung rückgängig machen muß das LCE gekühlt werden, dieser Vorgang dauert um die 10 Sekunden. Also ein sehr träger Werkstoff.

4.1.4 Electro- Viscoelastic Elastomere

Dieses EAP besteht aus einem Silikon mit einer polaren Phase. Um eine Verformung zu erreichen muss ein elektisches Feld solange angelegt werden bis die erwünschte Verformung sich eingestellt und stabilisiert hat.

4.1.5 Electrostrictive Graft Elastomere

Dieses EAP ist 1998 im NASA Langley Research Center entwickelt worden. Electrostrictive Graft Elastomere bestehen aus zwei Bestandteilen, ein flexibler Strang aus Makromolekülen und ein veredeltes Polymer, welches Kristalle ausbilden kann. Wenn nun ein starkes elektrisches Feld angelegt wird, verformt sich dieses Medium mittels der Elektrostriktion. Damit können Verformungen um die 4% erreicht werden. Weitere Vorteile sind die flexible Verarbeitbarkeit und die hohe elektromechanische Kraft die mit diesem EAP ausgeübt werden kann.

4.1.6 Electrostrictive Paper

Das man auch Papier mittels Elektrostriktion verformen kann, wurde an der Inha University, Korea demonstriert. Dazu hat man 2 silberbeschichtete Papierseiten, die als Elektroden dienen, so zusammengeklebt, das die Silberschicht nach außen weist. Wenn nun eine Spannung an die Elektroden angelegt wird, verformt sich das Papier (durchbiegen). Die Verformung hängt dabei von der angelegte Spannung und deren Frequenz, der Art des Klebstoffes und vom verwendeten Papier ab. Dieses EAP ist sehr leicht und läßt sich mit einfachen Mitteln herstellen und weiterverarbeiten.

4.2 Ionic EAP

4.2.1 Ionic Polymer Gels

Mit **I**onic **P**olymer **G**els (z.B. Polyacrylonitril) ist es möglich die Energiedichte und ausführende Kraft eines natürlichen Muskels zu erreichen. Durch ändern des umgebenden Mediums, von sauer nach alkalisch, wird eine Verformung des Gels (zusammenziehen, anschwellen) erreicht. Die Reaktionszeit ist aufgrund der Diffusionsgeschwindigkeit der Ionen sehr langsam und liegt im Sekundenbereich.

4.2.2 Ionic Polymer-Metallic Composites

Ionic **P**olymer-**M**etallic **C**omposites werden vorwiegend in der Brennstoffzellentechnologie eingesetzt. Erst 1992 wurde endeckt, das dieser Werkstoff sich durch anlegen einer Spannung von 1-10 Volt verformt (durchbiegen)und somit eine elektroaktive Charakteristika aufweist.

4.2.3 Conduktive Polymers

Zwei **C**onduktive **P**olymers Elektroden schließen eine Elektrolytschicht ein. Durch anlegen einer Spannung von $\sim$ 1-5 Volt dehnt sich das Material aus. Die Reaktionszeit ist von der Dicke der Elektrolytschicht abhängig, je dünner die Schicht, desto schneller die Reaktionszeit. Allerdings je dünner diese Schicht ist, desto weniger Kraft kann ausgeübt werden.

4.2.4 Carbon Nanotubes

1999 wurde erstmals über **C**arbon **N**ano**T**ubes mit diamandähnlichen mechanischen Eigenschaften berichtet. Die Karbon-Karbonbindung wird von Elektrolyten unterbrochen, diese Änderung in der Bindungslänge ermöglicht, bei anlegen einer Spannung, eine Ausdehnung von $\sim$1%. Nachteilig sind die hohen Produktionskosten und die problematische Massenproduktion.

4.2.5 Electro Rheological Fluids

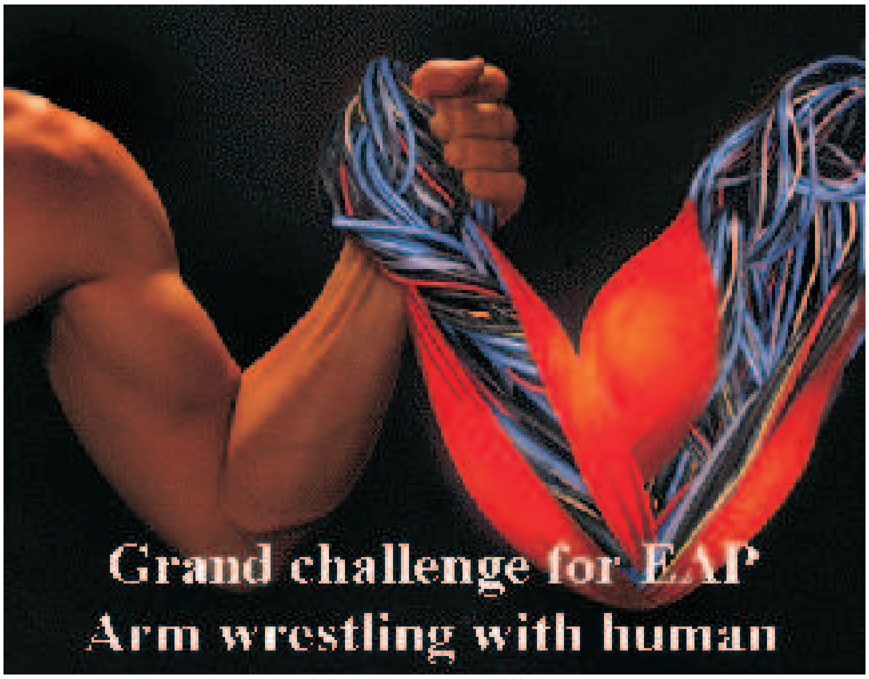
Electro **R**heological **F**luids verändern durch anlegen eines elektrischen Feldes ihre Viskosität (Winsloweffect). Das vormals flüssige Medium wir dann innerhalb einiger Millisekunden gelartig. Durch dieses EAP lassen sich Anwendungen, die vormals hydraulischer Natur waren, wie z.B. Stoßdämpfer, Kupplungen oder Vorlaufpumpen vereinfachen.

4.3 Technische Daten

Hier eine tabelarische Gegnüberstellung von EAP und den wohl bekanteren Formgedächtnismetallen. Wenn man mal von der möglichen Kraftausübung absieht, sind EAP eindeutig die bessere Wahl.

	EAP	**Formgedächtnismetalle**
Verformung	>10%	<8%
Kraft	0.1 - 0.3 MN/m^2	700 MN/m^2
Reaktionszeit	μSek - Sek	Sek - Min
Dichte	1 - 2.5g/cm^3	5 - 6 g/cm^3
Betriebsspannung	100 - 200 MV/m	NA
Verbrauch	mW	W
Formverhalten	dehnbar, biegsam	biegsam

4.4 Ausblick



Im Anschluß der diesjährigen EAPAD-Konferenz am 7 März, soll ein Ardrückevent zwischen einem Menschen und einem Roboterarm mit künstlichen Muskeln (aus EAP) stattfinden. Der Ausgang dieses Events war bei Abgabe dieser Arbeit noch nicht bekannt, deshalb siehe: **http://ndeaa.jpl.nasa.gov/nasa-nde/lommas/eap/EAP-armwrestling.htm**
Sollte dieses Match zu Gunsten des künstlichen Arms ausgehen, sollte der vollständigen Integration von EAP in die Robotik nichts mehr im Wege stehen.

Quellen:

[1] Bar-Cohen Y. April 2001,
"Electroactive Polymers as Artificial Muscles-Reality and Challenges "
Paper #2001-1492

[2] Bar-Cohen Y. March 2002,
"Electro-active polymers: current capabilities and challenges "
Paper 4695-02

WWW-Quellen:

[1] http://www.unm.edu/ amri/

[2] http://ndeaa.jpl.nasa.gov/nasa-nde/lommas/eap/EAP-web.htm

[3] http://ndeaa.jpl.nasa.gov/nasa-nde/lommas/eap/EAP-armwrestling.htm

[4] http://ndeaa.jpl.nasa.gov/nasa-nde/lommas/eap/WW-EAP-Newsletter.html